

誘導法によるボイド放電の基礎的研究

その他（別言語等） のタイトル	A Fundamental Study of the Void Discharge by the Induction Method
著者	宝喜 敢秀，中尾 好隆，服部 耐吉，沢 茂夫
雑誌名	室蘭工業大学研究報告．理工編
巻	6
号	3
ページ	991-998
発行年	1969-07-15
URL	http://hdl.handle.net/10258/3478

誘導法によるボイド放電の基礎的研究

宝 喜 敢 秀*・中 尾 好 隆
服 部 耐 吉・沢 茂 夫

A Fundamental Study of the Void Discharge by the Induction Method

Kanshu Hoki, Yoshitaka Nakao, Taikichi Hattori
and Shigeo Sawa

Abstract

In this paper, using the special experimental device, the authors intend to clarify the mechanism of the void discharge with the dust figure as compared with the gaseous discharge.

In the range of the voltage used, the void discharge does not lead to the arc state, but the partial spark discharge in a void causes the fault for the insulation, and also it is similar to the gaseous discharge in several respects.

I. 緒 言

近年における機器の小型化と高圧化により、絶縁構造の改善と絶縁強度向上の要求は増々高まり、絶縁内部に熱的、機械的、化学的原因等により生ずるボイドで発生する放電が問題となっている。したがって、ボイド内部での放電、すなわちボイド放電の検出法^{1),2)}や機構あるいは形態を明らかにしようという研究が数多く行なわれている^{4)~6)}。しかしながら、ボイドに関する研究は対象が絶縁物中の微小ボイドであり、形状の複雑さ及び現象の複雑さから多くの疑点を残している。

本文では、電荷図法を手段とし、ボイド放電で生ずるストリーマの立体的交差現象を、一平面上に表現させる様工夫した実験装置を用い、開放気体中の完全な火花放電機構との比較を中心に、電界に歪を与える空間電荷を考慮して、ストリーマ理論領域でのボイド放電の実験的考察を試み、更に一般放電機構の解明に役立たせることを意図してゐる。

II. 実験装置とその方法

実験装置は図-1に示すごとく、15×15 cm、厚さ2 mmの打ち抜きをした塩化ビニールをスペーサとしてはさみ、ボイド(ボイド径5 cm)を形成させた。上部絶縁板外側a面には、絶

* 住友スリーエム株式会社相模原工場

縁板に密着させて一対の平板電極を配置してある。電極周囲には松樹脂粉末等の充てん加圧してある。これはボイド内の電位傾度を上昇させることによって、ボイド内の放電を容易にして観察しやすくすることが目的で、また電極間の放電過程を求めて電極側とボイド内の放電を対照する目的である。したがって、この方法によって電極間の火花過程とボイド内の火花過程の関連を知ることができる。

装置下部の金属板⁷⁾は図形を鮮明にさせる目的で使用している。

この装置は、ボイド放電で生ずるストリーマの交差現象を同一平面上に表現させて観察しようという意図で作成したものであり、従来の発表に見られるボイドの上・下より電界を加えられて生ずる放電ではなく、上部絶縁板 a 面上で発生する放電電荷の誘導による現象であることが本研究の特徴である。

印加電源として、おもに衝撃電圧を用いた場合を述べ、比較のため直流電圧を使用している。

なお、電極間隙は 20 mm、加圧力は 100 kg/cm² とし、本文では図-1 の電極と粉体が存在する側、すなわち a 面での放電図形を電極側面電荷図、ボイド内で得られる上部絶縁板側すなわち b 面の図形をボイド内上部電荷図、下部絶縁板側すなわち c 面の図形をボイド内下部電荷図と表示する。

電荷図を得るには、電圧印加後、装置から上部絶縁板と下部絶縁板を取りはずし、これらに松樹脂と光明丹の混合粉末を散布し、その色別で残留電荷の極性を判別し、付着度より電荷密度を推し測っている⁸⁾。

混合粉末の散布は、a 面、b 面、c 面の順で行なっている。

III. 測定結果とその考察

図-2 (2-1, 2-2, 2-3) に衝撃電圧印加時の電極側表面電荷図、ボイド内上部電荷図、ボイド内下部電荷図の推移を示す代表例を掲げている。印加電圧の増大に伴い、まず電極 (+) 側に表面電荷図が得られるが、印加電圧をさらに上昇し、ボイド内がある電離電圧に達すれば、(+) 電極に対応する b 面の ④ に負図形が、c 面の ③ の位置すなわち電極の直下の位置に正の

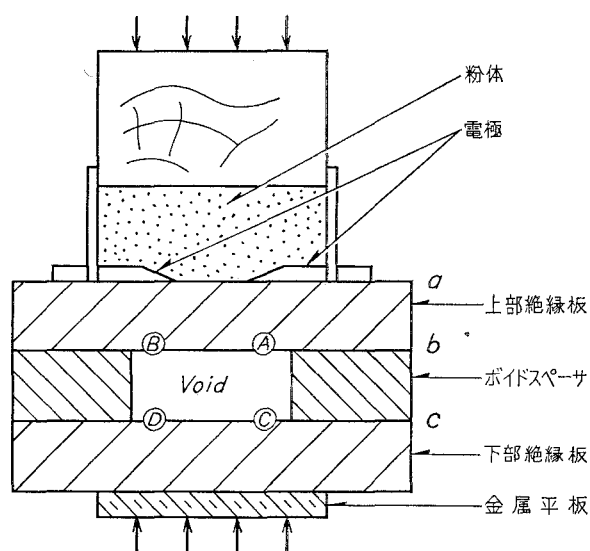


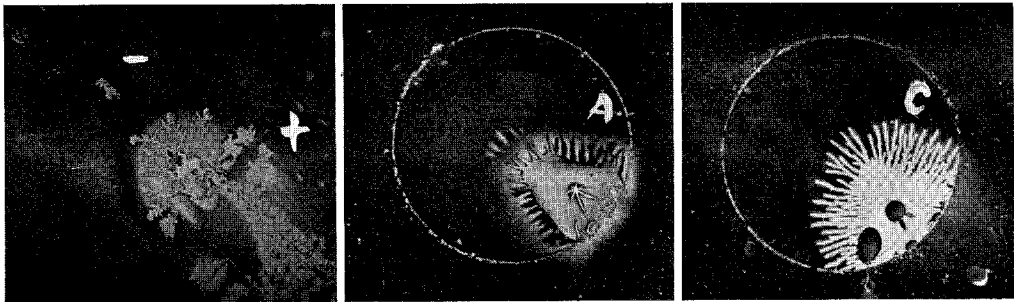
図-1 実験装置

図形が各々単独に現われる (2-1)。

さらに電圧を上げると、b 面の ㉔, ㉕ の位置にボイド内上部電荷図, c 面の ㉖, ㉗ の位置にボイド内下部電荷図が得られ、さらに電圧を増せば、正・負ストリーマはますます伸展し、ついに交差図形を示す (2-2)。

ボイド内に電荷図が得られるようになれば、電極側表面電荷図において、正電極側先端一体に赤紅色の光明丹が、負電極では黄白色の松樹脂が薄く付着する。これはボイド内の残留電

2-1

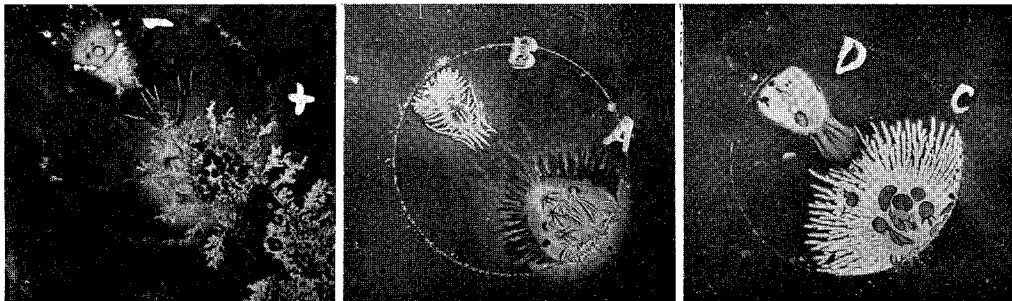


電極側表面電荷図

ボイド内上部電荷図

ボイド内下部電荷図

2-2

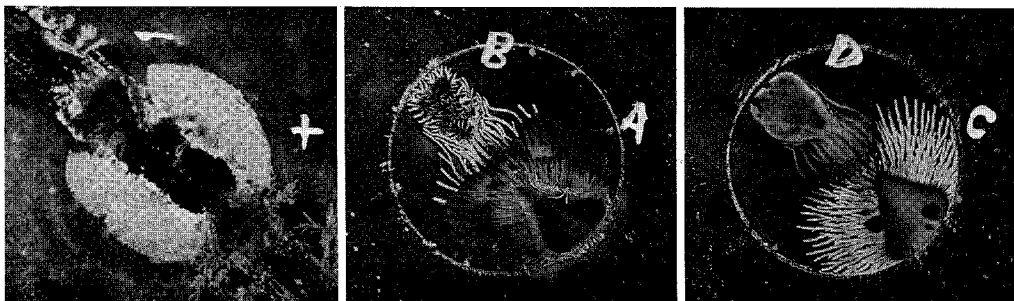


電極側表面電荷図

ボイド内上部電荷図

ボイド内下部電荷図

2-3



電極側表面電荷図

ボイド内上部電荷図

ボイド内下部電荷図

図-2 衝撃電圧印加時の放電図形の推移

荷によって得られるストリーマの極性と一致することから、裏面ボイド側電荷のもつ高電位のため、その反対面である表面側にもそれと同極性にして形態のぼけた図形を生ずる現象と思われる。しかし霞状図形^{9),10)}とは本質的に異なるものであることは、ボイド内に電荷図の現出しない低電圧印加時ではこの図形は得られず、また裏面のボイド内電荷図を拭き取れば、反対面である表面のこの図形は現われず、primary figure と Secondary figure⁹⁾ の関係にあり、ボイド電荷図が誘導図形であるという報告と一致する。

今、ボイド内電荷図について詳細に観察すれば、正電極裏面 (A) において赤紅色の地に黄白色の positive figure が表われ、負電極裏面電荷図 (B) では黄白色の positive figure が表われている。そして前者の色の分布が複雑になっている。

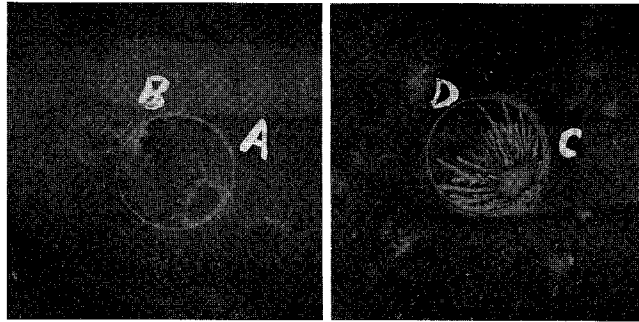
一方、相対するボイド内下部電荷図には、前者に対応する位置 (C) に黄白色の鮮明な樹枝状の地に幾分赤みがかかった negative figure が、後者に対応する位置 (D) に赤紅色の negative figure が表われている。この正電極裏面に生じている変形 star 状の positive figure およびそれに対応して下部絶縁板上に生じている positive figure 中の spot 状の赤色の negative figure は、電圧印加後、その下降過程もしくは下降後における各々表面電荷の after discharge による図形と考えられる。この際、after discharge による図形は上部絶縁板と下部絶縁板において独立ではなく相関関係があるということは、図形の生成位置および個数から推測される。一般に印加電圧を高くすれば生ずる after discharge の個数も増加する。

電極側が短絡すれば、ボイド内においても気中放電時の 2nd negative streamer が生じて positive streamer 中の仮想電極すなわち粉体側にある電極をボイド中に投影したと仮定した電極に達したような様相を呈する (2-3)。しかしながら、下部絶縁板上の対負すなわち C の位置に対する D の電荷の電荷量は、ストリーマ交差時と変わっておらず、繰り返し実験を行なった結果、正・負ストリーマの交差後に生じたものではないことより、気中放電でいう 2nd negative streamer とは別種のものであり、ボイド中残留電荷図相互の極性および電荷量から、ボイド内上部絶縁板上の負の電荷が、ボイド内下部絶縁板上に after discharge したものと考えるのが妥当のように思われる。さらに注目すべきことは、正の電荷中の負の電荷は、図-2 (2-1, 2-2) のように多数個型式を取らず単一型式で残留する。この際 after discharge が生ずべき電荷として、電極側沿面の完全な火花放電の結果、正電極へ電子流の移動があり、正電極側での電子による負の電荷の作用が裏面のボイドに影響するものと考えられる。

図-3 に、ボイド形状変化に対するボイド放電への影響を観察する目的で行なった実験結果の一例で、空隙直径を電極間隙と同じ 2 cm とした最終段階時のボイド内電荷図を示している。各段階での推移が余りはっきりしなかったが、肉眼観察においては、空隙直径 5 cm 時のボイド放電の推移と同様であるといえる。

これら一連のボイド電荷図を開放気体放電機構から考察してみれば、ボイド中で電離によ

って生ずる正・負ストリーマの交差によって、二次陰線条を伴ったアーク状態とは認め難い。これはボイドという特異性すなわち、電極と隔絶した状態での放電図形であり、ストリーマ理論における電極からの二次陰線状に相当するものがないと考えられる。換言すれば、ボイド内における正・負ストリーマは、強電界下における電子の衝突電離による樹枝状図形ではあるが、電極から供給せられる電子源がないため、コロナは火花放電の形式を取るがアーク放電に

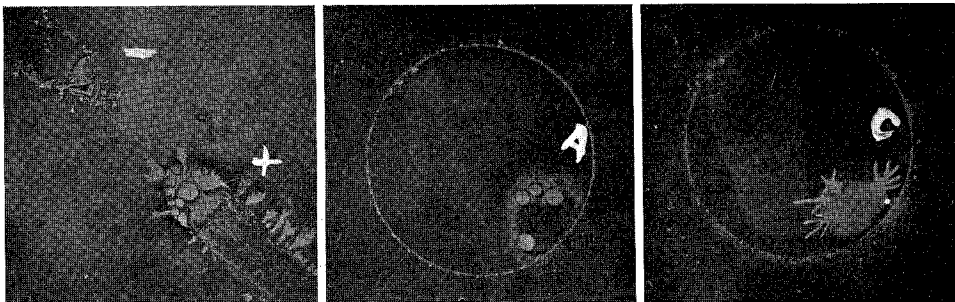


ボイド内上部電荷図

ボイド内下部電荷図

図—3 ボイド径 2 cm の時のボイド内電荷図

4—1

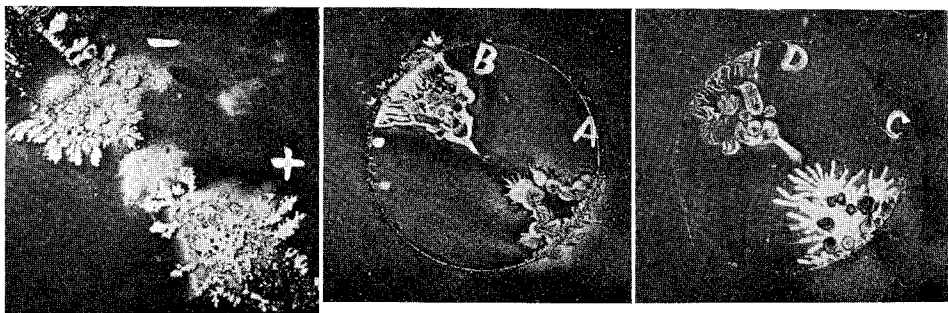


電極側表面電荷図

ボイド内上部電荷図

ボイド内下部電荷図

4—2



電極側表面電荷図

ボイド内上部電荷図

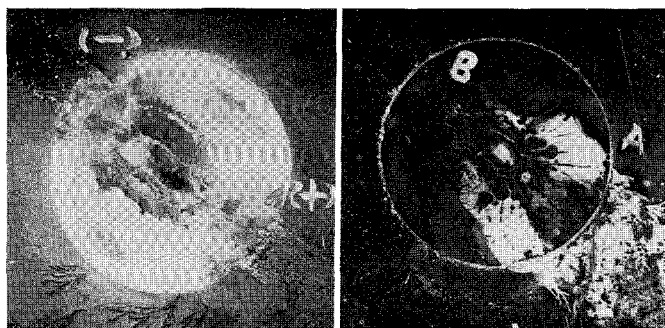
ボイド内下部電荷図

図—4 直流電圧印加時の放電図形の推移

は至らないと考えられる。

図-4 には、直流電圧印加時の電荷図を示した。衝撃電圧印加時に比べて、ボイド内電荷図は分散型多数個数放電となっており、after discharge 図形においては、正放電は衝撃電圧印加時の図形に比べて対称性の高い star 状を呈するが、負放電は、衝撃電圧、直流電圧いずれの場合も spot 状を呈する。

図-5 は直流電圧を印加して、電極側の沿面短絡が生じ、上部絶縁板が部分的に絶縁破壊した時の表・裏すなわち、a 面と b 面の写真である。



電極側表面電荷図 (表)

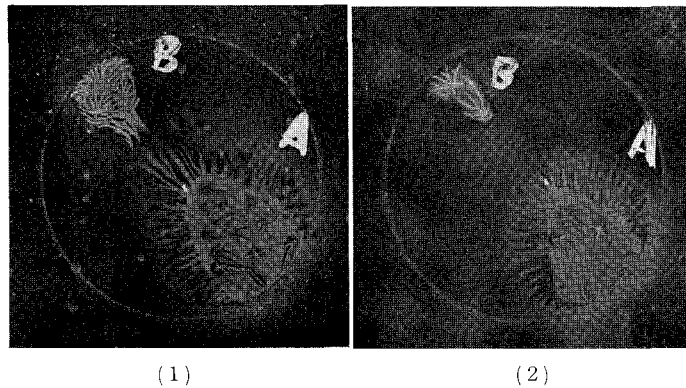
ボイド内上部電荷図 (裏)

図-4 直流電圧印加により部分破壊を起こした時の
上部絶縁板の表・裏

直流電圧印加法として、コンデンサに徐々に充電しながら徐々に昇圧する方法で行なっているため、空間電荷の影響等の純電気的作用、およびそれに伴う熱的影響が大きく、最終的に絶縁を破壊し、ボイド放電自体を一層複雑なものにしているが、電圧波形および電圧印加法の差によるものであって、衝撃電圧印加時と比べて火花機構そのものの差異はないと思われる。ボイドの存在は、もしボイド中のストリーマが反復発生すれば、treeing の原因となることが考えられる。またボイド中に霞状放電が長時間継続発生すれば、放電エネルギーによってこれがボイドの温度上昇を来とし、熱劣化の原因となり、誘電損失熱と重畳することが考えられる。このことは改めて発表の予定である。

また、霞状電荷が蓄積すれば二次的静電圧電源となり、ストリーマ発生を誘発することが考えられるが、この点を指摘している文献は見あたらない。

そこで、ボイド内の霞状図形について検討を加えてみる。図-6 に (1) として電極側表面である a 面に混合粉末を散布する前にこの面をアルコールで湿らせ、その表面の残留電荷を放電させたもののボイド内上部電荷図と、(2) として電極側表面の表面電荷に混合粉末を散布した後、得たボイド内上部電荷図を対比させてみた。写真の白黒でははっきりしないが、樹枝状図形とそれ以外の拡散図形とはその極性が反対である。(1) の方法で得られたボイド電荷図では、



図—6 誘導電荷を比較するために得たボイド内上部電荷図

(2) に比べて樹枝状図形と拡散図形の境界がより鮮明な、すなわち粉末の付着しない中性状態を現出する。この部分は、明らかに表面電荷の誘導によるものであるといえる。他の部分の拡散的図形については、赤色の粉末が付着する negative streamer 周囲の拡散的図形では黄白色の粉末が付着し、これは正の霞状図形と思われる。また対向の黄白色の粉末が付着して positive streamer が樹枝状を呈している周りでは、赤色の負電荷残留を示しており、いずれもストリーマ極性に相当する誘導である。

なお、ボイド内下部電荷図においては、拡散図形が表われていないのは、裏面に金属平板があり、ほとんど電荷が残留しないため誘導による拡散図形が現出しないと考えられるし、霞状図形がイオンの移動であるとするれば、ボイド内上部絶縁板に生じた拡散図形は反対面たる下部絶縁板に生じないという考え方もできる。この点の究明はなお進めなければならないが、電離によって生じた残留電荷が図形形式において影響力を有することは、残留電荷が本来の電界に歪を与え、ボイド放電における主要な役割をなすものと考えられる。したがって、ボイド放電でのこれらの現象も合わせて検討することが大切である。

IV. 結 言

本実験の範囲において、ボイド放電は開放気中放電と種々の面で似ているが、暴路された電極がないため、本実験程度の印加電圧では過大電流を流すアーク状態が認められないが、ボイド内において部分火花放電が起り、絶縁障害となることを明らかにした。

最後に、本実験に協力された松尾正孝助手、加藤栄一技術員に深謝の意を表する。

(昭和44年4月30日受理)

文 献

- 1) A. E. W. Austen & S. Whitehead: J.I.E.E., 88, 88 (1941).
- 2) 池田・堀井: 電学誌, 75, 111 (1955).
- 3) J. G. Anderson: Pwr. Apparatus & Syst., 27, 1193 (1956).
- 4) 竹村・杉田: 電試彙報, 15, 283 (1950).
- 5) 橋本: 日立評論, 39, 1191 (1957).
- 6) 井関: 富士時報, 4, 263 (1961).
- 7) 鳥山・篠原: 電学誌, 52, 320 (1932).
- 8) 鳥山: 電学誌, 48, 1177 (昭 3).
- 9) 鳥山・斎藤: 電学誌, 63, 3 (昭 18).
- 10) 鳥山・斎藤: 電学誌, 63, 536 (昭 18).
- 11) 鳥山・沢: 電学誌, 62, 408 (1942).